


COBERTURA GEOESPACIAL DE NODOS DE ACTIVIDAD PRIMARIA. ANÁLISIS DE LOS APORTES A LA SOSTENIBILIDAD URBANA MEDIANTE UN ESTUDIO DE ACCESIBILIDAD TERRITORIAL

 DIEGO ALEXÁNDER ESCOBAR GARCÍA ¹
CARLOS CADENA GAITÁN ²
ANDRÉS SALAS MONTOYA ³

RESUMEN

Esta investigación aplica técnicas geoestadísticas con el fin de entender la relación existente entre las características operativas de la red de transporte de la ciudad de Manizales (Colombia) y la ubicación geoespacial de los llamados Nodos de Actividad Primaria (NAP). Los NAP son aquellos que suplen las principales necesidades de la comunidad influenciando directamente las condiciones de sostenibilidad de una ciudad, incluyendo: salud, educación, recreación y seguridad. La investigación se soporta en la obtención de más de 18 millones de datos de GPS instalados en diferentes modos de transporte por un período de tiempo mayor a un año. Se determinan los tiempos medios de viaje que deben ser invertidos para alcanzar los NAP, los cuales son base para la obtención de las curvas isócronas, que a su vez permiten conocer las coberturas geoespaciales de las mismas en términos de población, área y número de viviendas. Se identifican las zonas de la ciudad que refieren algún tipo de deficiencia respecto a la cobertura de los NAP, dada su relación con los sistemas de transporte. Se exponen las bondades de la metodología y cómo ésta podría ser utilizada para definir programas de planificación urbana sostenible y áreas de influencia.

PALABRAS CLAVE: accesibilidad; cobertura; geoestadística; nodos de actividad; movilidad sostenible.

GEOSPATIAL COVERAGE OF PRIMARY ACTIVITY NODES. CONTRIBUTION TO URBAN SUSTAINABILITY ANALYSIS BY USE OF A REGIONAL ACCESSIBILITY STUDY

ABSTRACT

We apply geostatistical techniques in order to assess the relationship between the operating characteristics offered by the urban transport network in the city of Manizales (Colombia) and the geospatial location of the Primary Activity Nodes (PAN). The PAN are those that supply vital community needs such as: Health, Education, Recreation and Safety. This research is built on a set of more than 18 million GPS data points, compiled throughout a period of one

¹ Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. MCs en Vías y Transporte, Universidad de los Andes. PhD. en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte, Universidad Politécnica de Cataluña. Docente Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

² Licenciatura en Administración Reinhardt University. MCs en Administración Pública, Georgia State University. PhD. en Movilidad Sostenible, Universidad de Maastricht (Holanda)/Universidad de las Naciones Unidas. Investigador afiliado a la Universidad de Naciones Unidas. Integrante del colectivo Ciudad Verde.

³ Ingeniero civil Universidad del Valle. PhD. en Ingeniería Universidad del Valle. Postdoctorado en Ingeniería Civil University of Illinois. Docente Departamento de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.



Autor de correspondencia: Escobar-García, D.A. (Diego Alexander). Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Carrera 27 # 64-60, Bloque C, Campus Palogrande, Manizales (Colombia). Tel.: (576) 887 93 00 ext 50264. Correo electrónico: daescobarga@unal.edu.co

Historia del artículo:

Artículo recibido: 18-XII-2013 / Aprobado: 6-X-2014

Disponible online: 30 de junio de 2015

Discusión abierta hasta junio de 2016



year. Average travel times to reach the PAN and geospatial coverages in regards to population and area, are calculated. Graphical results are presented, explaining the required travel times to reach a certain NAP, and performing quantitative comparisons across the geospatial coverage thereof. We identify the areas of the city indicating deficient coverage of the NAP, in relationship to the urban transport systems. Finally, we describe the benefits of the methodology and offer it as an approach to optimize urban sustainable planning processes, and areas of influence.

KEYWORDS: Accessibility; Coverage; Geostatistic; Activity Nodes; Sustainable Mobility.

COBERTURA GEOESPACIAL DE NODOS DA ATIVIDADE PRIMÁRIA. ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE ACESSIBILIDADE TERRITORIAL

RESUMO

Esta pesquisa aplica técnicas de geoestatística para compreender a relação entre as características do funcionamento da rede de transportes da cidade de Manizales (Colômbia) e localização geoespacial dos chamados nodos de atividade primária (NAP). Os NAP são aqueles que satisfazem as necessidades primárias da comunidade influenciando diretamente as condições de sustentabilidade de uma cidade, incluindo: Saúde, Educação, Lazer e Segurança. A pesquisa é suportada na obtenção de mais de 18 milhões de dados de GPS instalados em diferentes modos de transporte, por um período superior a um ano. Determinam-se os tempos médios de viagem a ser investido para alcançar o NAP, que são a base para a obtenção de curvas isócronas, que por sua vez fornecem informações sobre coberturas geoespaciais para nós, em termos de população, área e número de habitações. São identificadas as Áreas da cidade que se relacionam com algum tipo de deficiência na cobertura do NAP, dada a sua relação com os sistemas de transportes. Os benefícios da metodologia são apresentados e como ele pode ser usado para definir os programas de planejamento urbano sustentável e áreas de influência.

PALAVRAS-CHAVE: Acessibilidade; A cobertura; Geoestatística; Nodos de Atividade; A mobilidade sustentável.

1. INTRODUCCIÓN

Manizales se ubica en la región centro occidente de Colombia sobre la prolongación de la cordillera central (2150 m.s.n.m., 362 mil hab.), emplazada en un terreno topográficamente abrupto ha obligado la generación de una estructura urbana no continua. Todas las aglomeraciones urbanas cuentan con gran variedad de nodos de actividad, los cuales son espacios geográficos que se caracterizan por ser los principales atractores y generadores de viajes; estos espacios deben estar debidamente comunicados y distribuidos en el territorio, con el fin de buscar cada día sistemas más sostenibles.

Desde el punto de vista de sostenibilidad, es necesario identificar los espacios urbanos donde existe una mayor concentración de actividades; los nodos de actividad primaria (NAP) son aquellos que suplen las principales necesidades de la comunidad como son:

salud, educación, recreación y seguridad, éstos hacen parte del diario transcurrir de los habitantes, y su importancia radica en la necesidad ciudadana de acceder a los mismos. Dado lo anterior, la adecuada planificación respecto a la ubicación geoespacial de los NAP se reflejará en una comunidad cada vez más satisfecha y comprometida con hacer de su ciudad un lugar cada día más sostenible.

Los resultados de investigación aquí presentados decantan en un detallado análisis de accesibilidad territorial urbana mediante la cual se relaciona la ubicación geoespacial de los NAP y las características operativas de la red de infraestructuras del transporte, con el fin de conocer la cobertura que la ubicación de dichos NAP ofrecen en relación con la población y área municipal.

Las investigaciones relacionadas con los análisis de accesibilidad, toman los conceptos de la teoría de redes y grafos, en donde, a partir de un estudio

morfométrico de las mismas y en base a una muestra de datos, es posible conocer el aspecto de la estructura completa de la red, fundamentándose en métodos cuantitativos y geoespaciales (geoestadística). Mediante la aplicación de esta metodología se obtienen resultados gráficos relevantes, permitiendo identificar áreas que presentan deficientes condiciones de accesibilidad en relación con la ubicación de los nodos de actividad.

Desde el punto de vista de planificación territorial, tanto a escala urbana como regional, se ha dado bastante importancia al concepto de *accesibilidad*, no sólo en relación con las posibilidades físicas de acceder a un sitio, sino también en relación a su propia dimensión geográfica y geoespacial. De forma general, la accesibilidad se define como una medida de la facilidad de comunicación entre un conjunto de actividades o asentamientos humanos, usando uno o varios modos de transporte (Morris, Dumble y Wigan, 1978); la definición más clásica de accesibilidad es la aportada por Hansen (1959, 73) «... *the potential of opportunities for interaction*». No obstante, existen diferentes y variadas definiciones del término (Jones, 1981; Martellano, Nijkamp y Reggiani, 1995; Pirie, 1979), encontrando que el origen del término *accesibilidad* se remonta a la segunda década del siglo XX cuando se abordó en áreas investigativas relacionadas con la teoría de la localización y el planeamiento económico regional (Batty, 2009). Desde el punto de vista geográfico, la accesibilidad es considerada como una importante variable de competitividad entre las regiones (Biehl, 1991), habiéndose comprobado que las poblaciones más accesibles son las que han referido a través del tiempo un mayor éxito económico, lo cual ha sido resaltado en investigaciones cuyo objetivo es dilucidar la relación entre accesibilidad y desarrollo económico (Ribeiro y Silva, 2011). La accesibilidad es una medida tan representativa que se debe entender como una necesidad secundaria no percibida (Halden, 2011), la cual no es un fin sino un medio para llegar a sectores prioritarios para los pobladores, como lo son los NAP; lo anterior refuerza fuertemente el por qué este tipo de metodologías está siendo cada vez más involucrada en la evaluación de planes y priorización de proyectos de infraestructura del transporte (Gutiérrez, Condeço-Melhorado y Martín, 2010).

En la literatura actual es posible encontrar va-

riados tipos de análisis de accesibilidad que han sido abordados bajo una óptica de planificación territorial, tanto a nivel regional como urbano; por ejemplo, a nivel urbano existen análisis de accesibilidad que abordan temas como la sostenibilidad (Cheng, Bertolini, Le Clercq, 2007; Escobar, García y Cadena, 2013a; Vega, 2011), acceso a parques públicos (Wang, Brown y Mateo-Babiano, 2013), demografía (Kotavaara, Antikainen y Rusanen, 2011), prestación y localización de servicios (Calcuttawala, 2006; Higgs, Langford y Fry, 2013; Park, 2012), cohesión social (López, Gutiérrez y Gómez, 2008; Schürman, Spiekermann y Wegener, 1999), entre otros; así mismo, a nivel regional existen aplicaciones en campos relacionados con el desarrollo económico (MacKinnon, Pirie y Gather, 2008; Rietveld y Nijkamp, 1993; Vickerman, Spiekermann y Wegener, 1999) y con análisis de cobertura (Straatemeier, 2008), entre otros. A pesar que en Colombia la accesibilidad ha sido una medida poco usada, dado el desconocimiento del verdadero potencial que posee este tipo de análisis, ya se poseen algunos ejemplos reales de aplicación de estas metodologías, tanto a nivel regional (Escobar, García y Tolosa, 2013b) como urbano (Escobar y García, 2012). A través del tiempo, los estudios de accesibilidad se han convertido en un elemento primario de planificación urbana, mediante el cual se establecen criterios cuantitativos para la determinación, por ejemplo, del futuro uso de suelo, buscándose así un mayor bienestar social mediante una adecuada planificación sectorial (Kibambe, Radoux y Defourny, 2013). A partir de la década de los 90 se han desarrollado herramientas informáticas que permiten generar análisis espaciales mediante la relación de diferentes bases de datos geográficas (Zhu-Xuang y Liu-Susia 2004), siendo posible la articulación entre información geográfica y de actividades urbanas con información relacionada con variables como: características de las infraestructuras de transporte y movilidad (López, Nieto y Arias, 2010), información geoespacial, socioeconómica, demográfica, planificación municipal (Molina, López y Villegas, 2005), etc. En esta investigación se usó un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el cual se agregó toda la información geoespacial de los NAP, en donde, al relacionar dichos datos con las características operativas de la red de infraestructuras del transporte, se logró generar un análisis de cobertura espacial en relación con las variables área, población y número de viviendas. Utilizando las capacidades de

visualización geoespacial del SIG se generaron mapas de la distribución geográfica de los NAP que complementaron los estudios de cobertura geoespacial. Vale la pena resaltar que existen ejemplos de análisis de cobertura geoespacial, y que han sido aplicados en diferentes áreas del conocimiento como: demografía y crecimiento urbano (Huiping-Li y Qiming-Zhou 2010), agricultura y recursos naturales (Arcidiacono, y Porto, 2010; Gellrich y Zimmermann, 2007; Tassinari, *et al.*, 2008;), salud (Hernández-Ávila, *et al.*, 2002), entre otras. Luego de la introducción, el capítulo 2 presenta la metodología aplicada para los cálculos de accesibilidad y cobertura geoespacial; el capítulo 3 muestra los principales resultados obtenidos, el capítulo 4 aborda las conclusiones de la investigación y finalmente, el capítulo 5 enmarca los comentarios finales del estudio.

2. METODOLOGÍA

Esta se compone de cinco etapas consecutivas:

- Puesta a punto de toda la red de infraestructuras del transporte, la cual a su vez incluye varias subetapas como adquisición de información y actualización de la red georeferenciada.
- Georeferenciación de los NAP.
- Cálculos de velocidades de operación promedio sobre los arcos que componen la red.
- Cálculo de la accesibilidad media integral ofrecida por la red.
- Cálculo de los porcentajes de área, población y número de viviendas que son cubiertas por las curvas de tiempo medio de viaje obtenidas del análisis de accesibilidad integral.

2.1. Actualización y validación de la red de infraestructuras del transporte

La red de infraestructuras está conformada por la agregación de nodos y arcos (segmentos de vía), que se encuentran localizados espacialmente. La red de análisis está compuesta por más de 12 000 arcos y más de 9000 nodos. Por otra parte, se instalaron equipos GPS en todos los modos de transporte disponibles para la movilidad urbana, con el fin de obtener datos de operatividad de cada modo según un intervalo de tiempo predeterminado (un segundo). Partiendo de la red de

infraestructuras del transporte más actualizada posible (año 2010) y superponiendo los recorridos registrados por los equipos GPS, fue posible la validación completa de la red vial y la identificación de elementos infraestructurales que requirieron de confirmación en campo o mediante el uso de aerofotografías.

2.2. Georeferenciación de los NAP

A partir de documentos oficiales como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Manizales, fue posible ubicar los NAP. Los NAP abordados en esta investigación se definen como:

- Salud, lugares donde se prestan servicios de asistencia médica, primeros auxilios y asistencia especializada en salud, pueden ser públicos o privados.
- Educativos, lugares donde se desarrollan actividades educativas e instrucción, preescolar, formal, no formal y técnica, de carácter público y privado.
- Recreativos, son lugares que poseen espacios destinados para la recreación de la comunidad.
- Seguridad, son lugares desde los cuales se coordinan las actividades de control del orden público o atención de emergencias.

2.3. Cálculo de velocidades de operación

Anterior al cálculo de las velocidades de operación, se debió llevar a cabo un proceso de validación de la información recopilada, el cual consistió en verificar la estructura de la base de datos, el sistema de coordenadas, el tiempo entre dato y dato, la secuencia de datos, el formato de los archivos, la precisión prevista, etc. El procesamiento de toda la información requirió de la aplicación de diferentes cálculos de acuerdo al desarrollo del proyecto, colocándose especial énfasis en el análisis de la velocidad de operación dado que ésta variable determina el comportamiento general de la red y se convierte en un elemento clave para los cálculos de accesibilidad (Geurs y Ritsema van Eck, 2001). Se destaca que las características operativas de la red vial para los cálculos aquí presentados corresponden a las velocidades de operación del sistema en general, es decir, los arcos se encuentran cargados con los promedio de las velocidades de operación de los diferentes modos de transportes que por ellos se movilizan, así mismo, se resalta que la velocidad de operación calculada para

cada arco corresponde al promedio de todas las velocidades registradas en cada arco en particular para todo el período de toma de datos, es decir, la velocidad no está relacionada con una hora del día en específico, lo cual genera una ventana futura de investigación mediante la comparación de accesibilidades según la velocidad de operación que se registra en hora pico o en hora valle. La velocidad de operación se determinó para cada arco de la red a partir de los datos de tiempo obtenidos en forma continua por los equipos GPS. Se analizaron tres parámetros:

- La velocidad de operación por intervalo de tiempo entre dos puntos (**Ecuación 1**), parámetro que permite establecer las variaciones de velocidad en un arco en particular. Donde, V_i = velocidad en km/h; x_1, y_1 = coordenadas del punto 1 en metros; x_2, y_2 = coordenadas del punto 2 en metros; t = intervalo de tiempo en segundos entre los puntos 1 y 2.

$$v_i = \frac{3,6}{t} \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (1)$$

- La velocidad de operación promedio de un viaje sobre el i-ésimo arco (**Ecuación 2**). Esta velocidad es la relación entre la longitud del arco y la diferencia de los tiempos de paso entre nodos. Donde, V_i^a = velocidad i en el arco a (km/h); l_a = longitud del arco a en metros; t_1 = tiempo de paso en el nodo inicial; t_2 = tiempo de paso en el nodo final.

$$v_i^a = 3,6 \frac{l_a}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

- La velocidad promedio en el arco para un período de tiempo (**Ecuación 3**). Usada para establecer las impedancias de la red y para desarrollar el modelo de predicción de tiempos medios de viaje. Donde, V_a = velocidad promedio de operación del arco a; n = número de datos de velocidad registrados en el arco a, para un período de tiempo dado.

$$\bar{v}_a = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^a}{n} \quad (3)$$

2.4. Cálculo de la accesibilidad media integral

Ésta se analizó a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}), el cual representa el tiempo medio de viaje desde un grupo de nodos establecido (NAP en este

caso) hasta los demás nodos de la red. Para el cálculo, se utilizó un algoritmo del SIG que permite calcular la menor impedancia (camino mínimo) entre un grupo de nodos específico y los demás nodos de la red, dadas las velocidades de operación obtenidas para cada arco. El vector de tiempo medio de viaje obtenido ($n \times 1$), se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada uno de los nodos, con el fin de generar una matriz de orden ($n \times 3$), por medio de la cual, mediante la aplicación de un modelo geoestadístico, se generan las curvas isócronas de tiempo medio de viaje para el análisis de la Accesibilidad Integral; éste tipo de medida de accesibilidad, mide el grado de interconexión de un nodo en particular con los demás nodos de una misma área.

2.5. Análisis de coberturas

El área urbana de la ciudad de Manizales asciende a 35,1 km², su población es de 361 422 habitantes (año 2010) y el número de viviendas es de 83 868 unidades, esta información se desagregó en 115 barrios. Mediante el uso del GIS, se relacionaron las curvas isócronas obtenidas con la información demográfica recabada. Se realizaron cálculos del porcentaje de población, área y número de viviendas que se encuentra cubierto por una determinada curva isócrona.

3. PRINCIPALES RESULTADOS

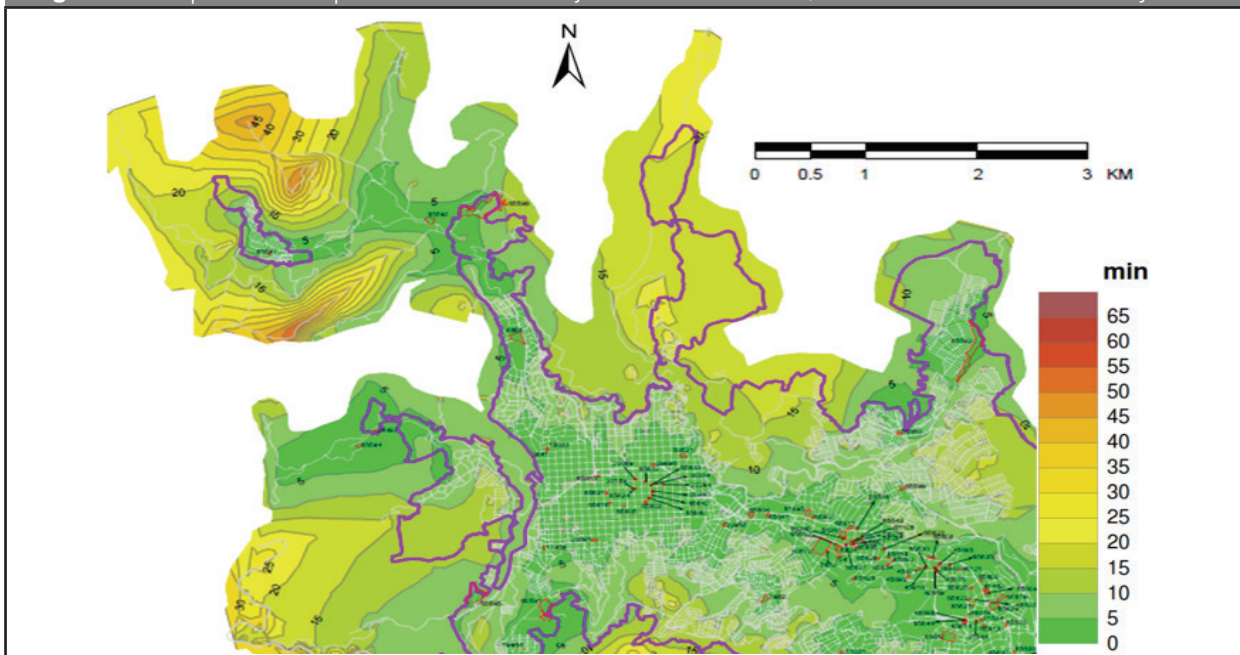
A continuación se presentan los principales resultados obtenidos para los NAP de la ciudad de Manizales: salud, educativo, recreativo y seguridad.

3.1. NAP salud

En la **Figura 1** se observan las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje que muestran los tiempos que deben ser invertidos para llegar a los NAP salud.

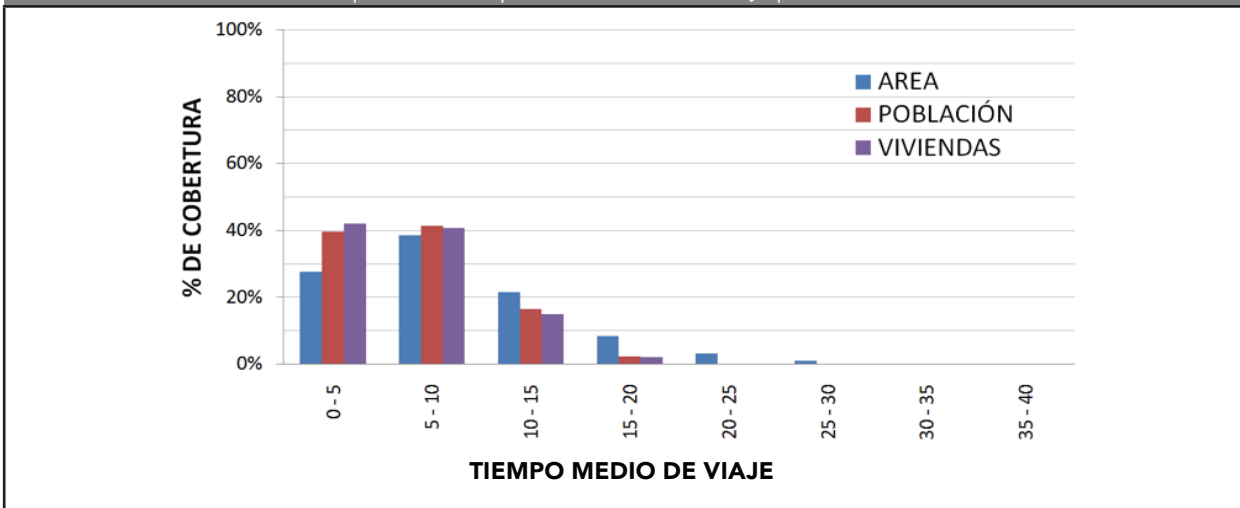
Se observan varias áreas de la ciudad que se encuentran cubiertas por la curva de 5 min, indicando que desde dichos sectores, es posible alcanzar un NAP salud si se invierten hasta 5 min de tiempo medio de viaje. Este conjunto de nodos de actividad abarca los centros de atención hospitalaria de la ciudad y los centros de atención de urgencias locales. En total se identificaron 105 NAP de este tipo, de los cuales dos (2)

Figura 1. Tiempos medios óptimos e ideales de viaje hacia los NAP salud, año 2010. Sectores occidente y centro



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Distribuciones de los porcentajes de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje para los NAP salud



Fuente: Elaboración propia

son de influencia nacional, veintitrés (23) de influencia regional y ochenta y uno (81) de influencia local. Se destaca la expansión de la curva de 5 min a partir de un eje principal de la red vial que recorre la ciudad en sentido oriente-occidente y viceversa (Avenida Santander), así como en el eje imaginario establecido

entre barrios situados al nororiente y el suroccidente, estableciéndose éstos como sectores desde los cuales es posible alcanzar un NAP salud en menores tiempos medios óptimos e ideales de viaje, indicando la concentración de dicha actividad en dichas áreas. En la **Figura 2** se observa la distribución de los porcentajes

de cobertura de las variables área, población y número de viviendas, según el tiempo medio de viaje, para los NAP salud.

Se obtuvo que el 28 % del área, el 40 % de la población y el 42 % del número de viviendas de la ciudad podrían alcanzar un NAP salud si se invierten hasta 5 min de tiempo medio de viaje. Se concluye que dadas las características operativas de la red de transportes actual, este tipo de NAP puede ser alcanzada por aproximadamente un 98 % de la población en tiempos medios óptimos e ideales de viaje de hasta 15 min.

Se observa que la mayor cobertura se presenta para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de hasta 10 min. con valores de cobertura de población aproximadamente del 40 %.

3.2. NAP Educativo

En la **Figura 3** se observan las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje que representan los tiempos que deben ser invertidos para alcanzar los NAP educativos.

Se identificaron un total de 165 NAP educativos, de los cuales tres (3) son de influencia nacional, uno (1) de influencia regional y el resto (161) de influencia local. Se observa un amplio sector de la ciudad cubierto por la curva de 0 a 5 min, esta se expande a lo largo del eje estructurante de movilidad oriente-occidente y viceversa, complementado por canales de movilidad primarios y secundarios. Lo anterior indica que desde dichos sectores, es posible alcanzar un NAP educativo si se invierten hasta 5 minutos de tiempo medio de viaje.

Los análisis de cobertura de las variables área, población y número de viviendas, permiten establecer conclusiones respecto a los sectores donde se concentra dicha actividad en relación con las características operativas de la red vial. En la **Figura 4** se observa la distribución de los porcentajes de cobertura de las variables área, población y número de viviendas cubiertas, según el tiempo medio de viaje para los NAP Educativos.

Se obtuvo que el 55 % del área, el 72 % de la población y el 72 % del número de viviendas de la ciudad podrían alcanzar un NAP educativo si se invierten hasta 5 minutos

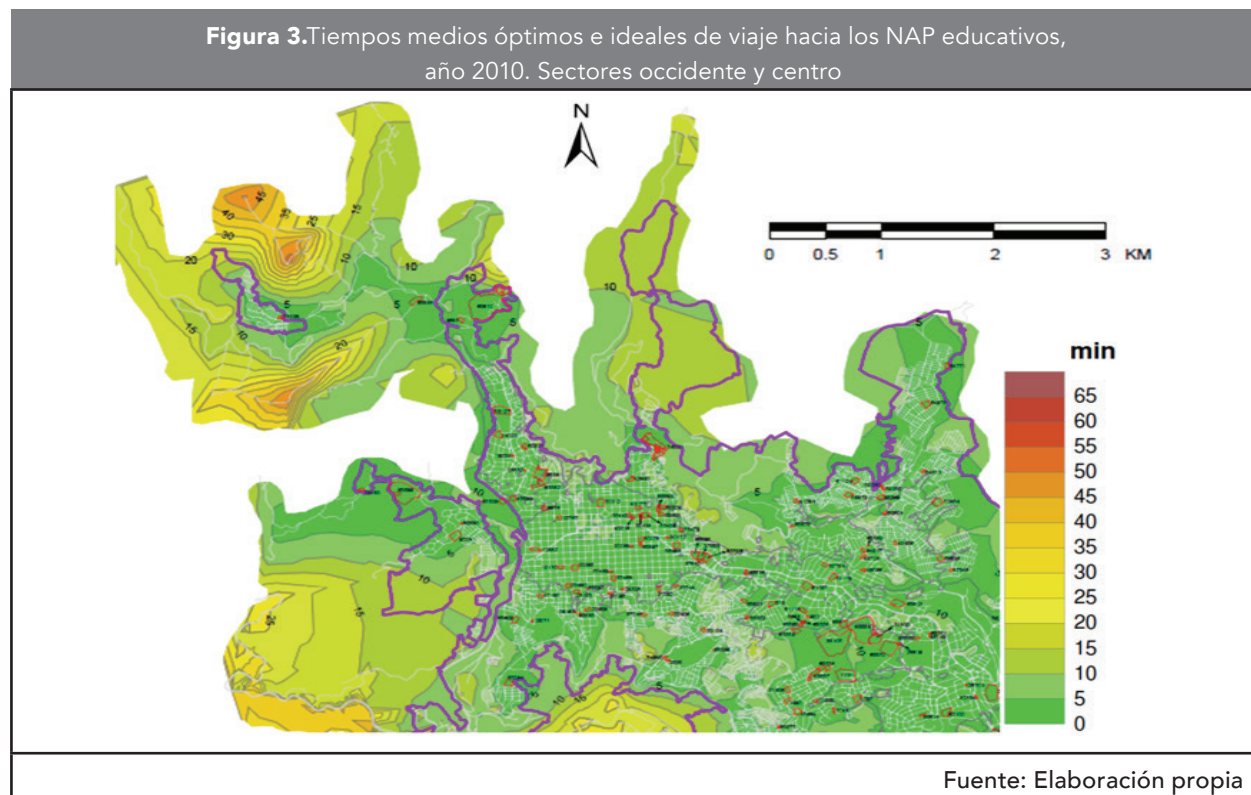
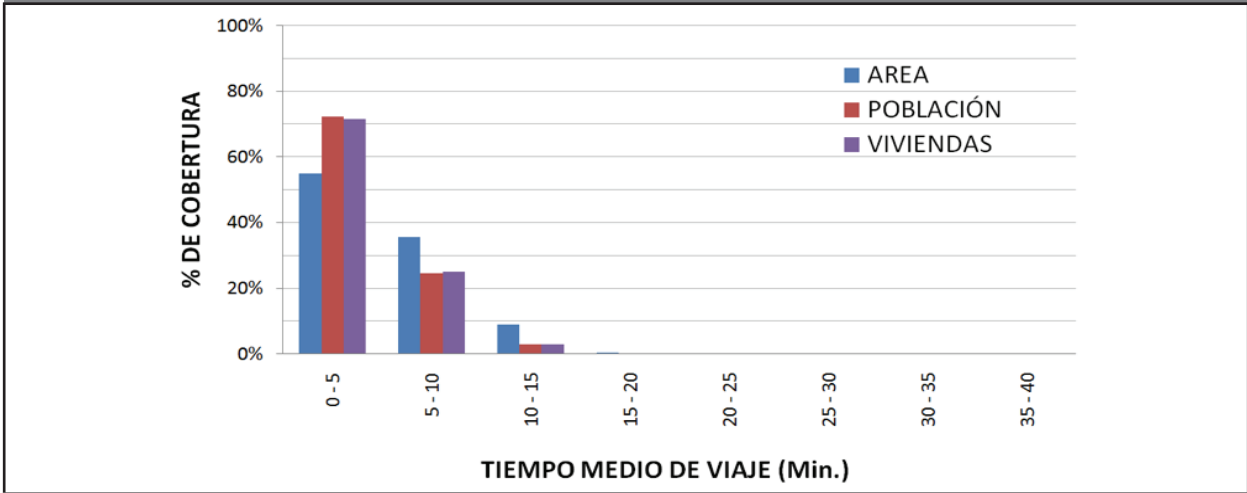
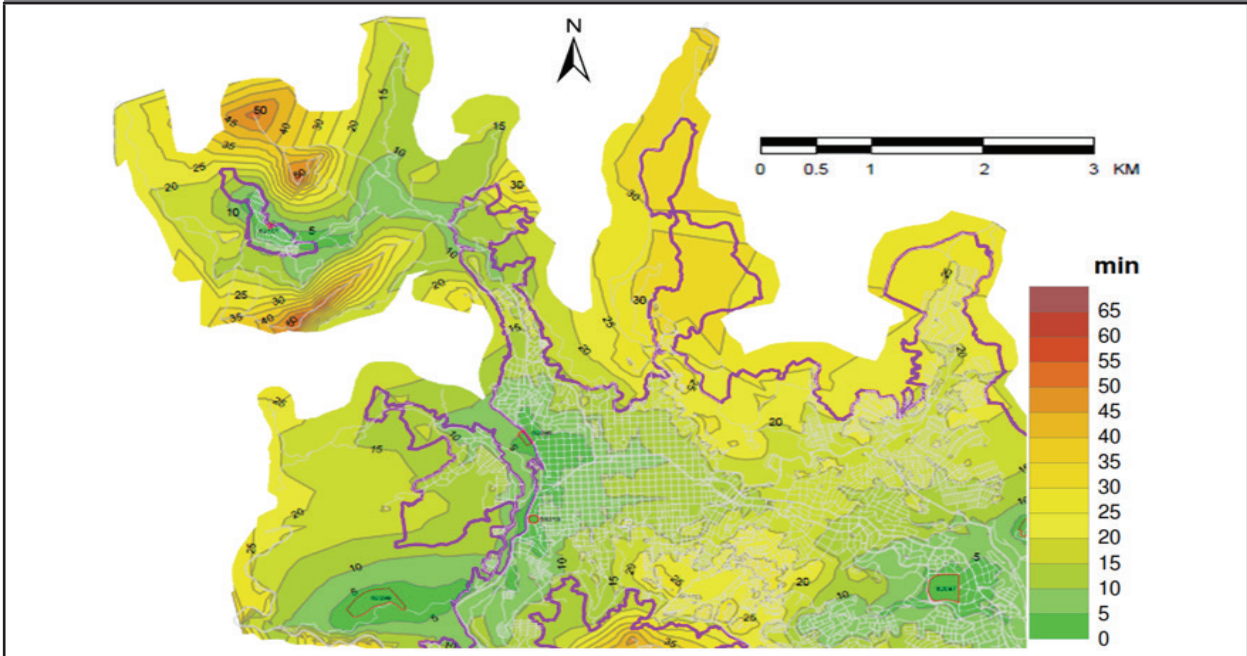


Figura 4. Distribuciones de los porcentajes de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje para los NAP educativo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Tiempos medios óptimos e ideales de viaje hacia los NAP recreativos, Año 2010. Sectores occidente y centro



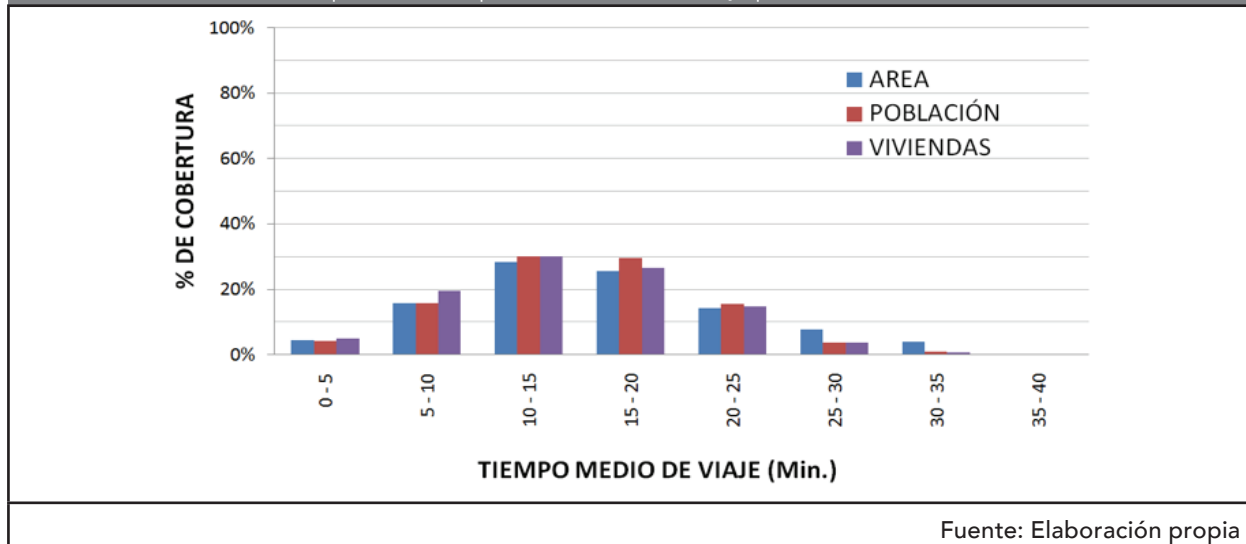
Fuente: Elaboración propia

de tiempo medio de viaje, valores estos mayores a los encontrados para el NAP salud. Se concluye que dadas las características operativas de la red de transportes actual, este tipo de actividad puede ser alcanzada en un 100 % de cobertura de las tres variables analizadas si se invierten

aproximadamente hasta 15 min de tiempo medio de viaje.

Se observa que la mayor cobertura se obtiene para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de entre 5 y 10 minutos, con valores de cobertura de superiores al 40 % para cada variable.

Figura 6. Distribuciones de los porcentajes de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje para los NAP recreativo



3.2. NAP recreativo

En la **Figura 5** se observan las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje que representan los tiempos que deben ser invertidos para alcanzar los NAP recreativo.

Se ubicaron un total de 7 NAP recreativos, de los cuales uno (1) es de influencia Internacional, dos (2) son de influencia nacional, dos (2) de influencia regional y dos (2) de influencia local.

Los NAP Recreativos están definidos como áreas especialmente construidas para la recreación en aspectos deportivos e infraestructuras de alta congregación de población.

Se aprecia que la curva de 5 min cubre sectores específicos de la ciudad, como el occidente, donde se ubica la plaza de toros e instalaciones para conciertos en el occidente; el sector centro oriente, donde se ubica la unidad deportiva Palogrande y el Ecoparque los Yarumos y el sector suroriental donde se ubica el Bosque Popular el Prado, indicando que desde dichos lugares, es posible alcanzar un NAP Recreativo si se invierten 5 min de tiempo medio de viaje; se observa que el sector centro no posee este tipo de actividad, lo cual hace que esté cubierto por curvas de tiempos medios de viaje de entre 15 y 20 min. En la **Figura 6** se observa la distribución de los porcentajes de cobertura de las variables área, población y número de viviendas cubiertas, según

el tiempo medio de viaje para los NAP Recreativos.

Se obtuvo que el 4 % del área, el 4 % de la población y el 5 % del número de viviendas de la ciudad podrían alcanzar un NAP recreativo si se invierten hasta 5 min. de tiempo medio de viaje, siendo estos valores de cobertura muy bajos comparados con los obtenidos para los NAP educativo y salud. Se aprecia que la mayor cobertura se presenta para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de entre 10 y 20 min, con un valor de cobertura cercano al 30 % cada uno. Se concluye que dadas las características de operación de la red vial actual, este tipo de actividad puede ser alcanzada en un 100 % de cobertura de las tres variables analizadas si se invierten hasta 35 min de tiempo medio de viaje.

3.4. NAP seguridad

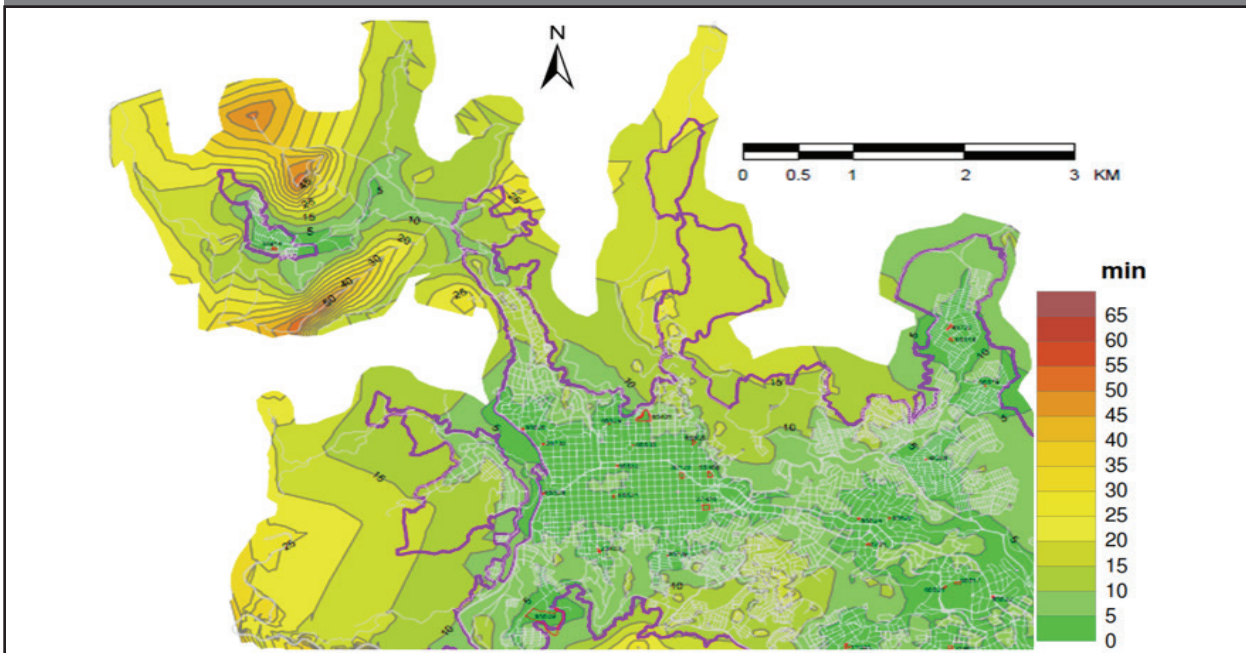
En la **Figura 7** se observan las curvas de tiempos medios de viaje que muestran los tiempos medios de viaje que deben ser invertidos para llegar a los NAP seguridad.

En este grupo de clasificación se encuentran todos los sitios que en algún momento podrían atender una emergencia de índole de seguridad, particular o conjunta, en la comunidad. Se identificaron un total de 39 NAP de este tipo, de los cuales dos (2) son de influencia nacional, ocho (8) de influencia regional y veintinueve (29) de influencia local. Se

observan tres amplios sectores de la ciudad que se encuentran cubiertos por la curva de 5 min, indicando que desde dichos sectores, es posible alcanzar un NAP Seguridad si se invierten hasta 5 min, o visto de otra manera, son dichos sectores los que podrían ser

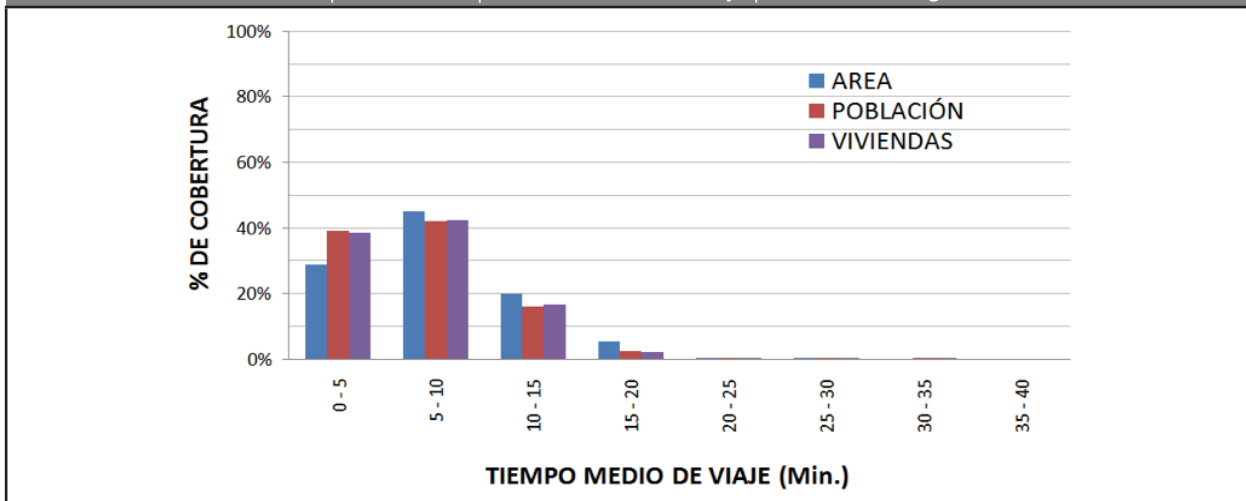
atendidos en dicho tiempo. En la **Figura 8** se observa la distribución de los porcentajes de cobertura de las variables área, población y número de viviendas cubiertas, según el tiempo medio de viaje para los NAP seguridad.

Figura 7. Tiempos medios óptimos e ideales de viaje hacia los NAP Seguridad, año 2010. Sectores occidente y centro



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Distribuciones de los porcentajes de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas de tiempos medios óptimos e ideales de viaje para los NAP seguridad

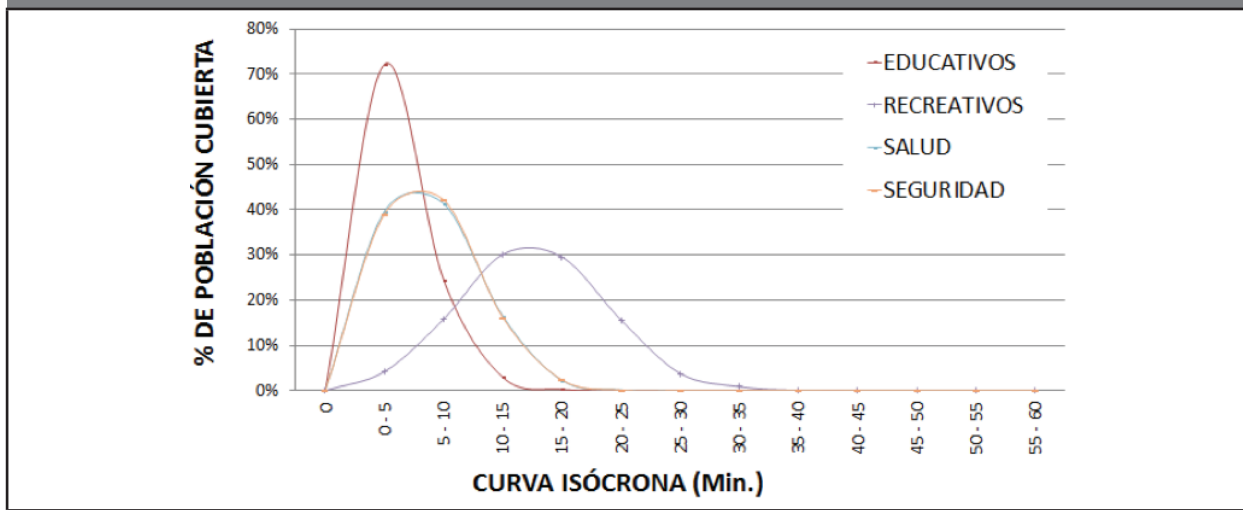


Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la mayor cobertura se obtuvo para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de entre 5 y 10 min. con valores de cobertura de aproximadamente el 40 %. Si se comparan inicialmente las distribuciones de los porcentajes según el tiempo medio de viaje invertido y según el NAP, es posible encontrar que el nodo de actividad seguridad refiere mejor cobertura que los NAP recreativos y salud, aunque refiere menor cobertura que los NAP edu-

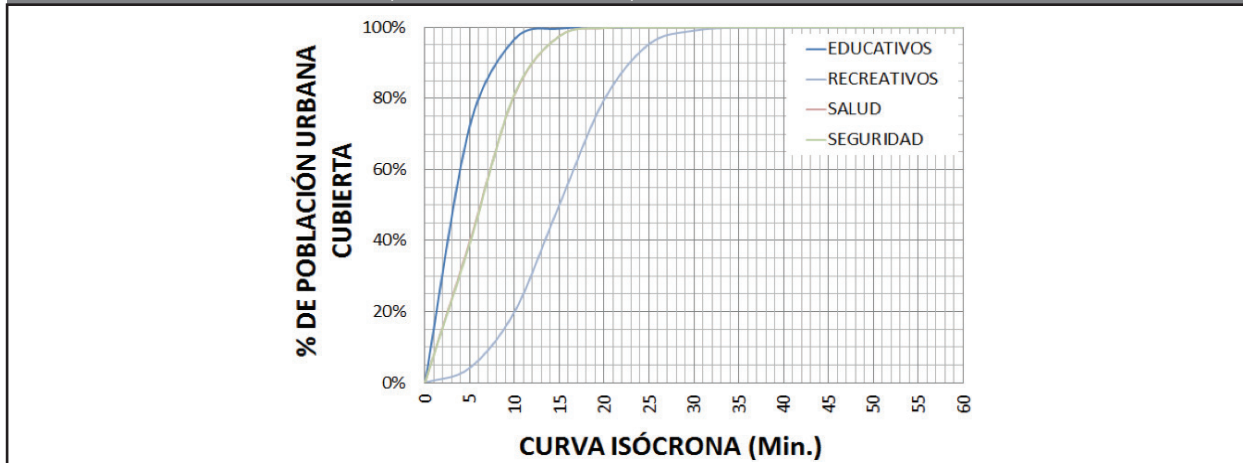
cativo. Se obtuvo que el 29 % del área, el 39 % de la población y el 39 % del número de viviendas de la ciudad podrían alcanzar un NAP seguridad si se invierten hasta 5 min de tiempo medio de viaje. Se concluye que dadas las características operativas de la red de transportes actual, este tipo de actividad puede ser alcanzada por el 100 % de las tres variables analizadas en tiempos medios óptimos e ideales de viaje de 20 min.

Figura 9. Comparación de porcentaje de población cubierta por rangos de tiempo medio de viaje para los NAP



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Comparación de ojiva porcentual de población cubierta por las curvas de tiempo medio de viaje según el NAP



Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

Uno de los objetivos comunes en materia de transportes de una gran cantidad de países es el eliminar las amplias diferencias de clase, por medio de un mayor acceso a servicios y artículos de primera necesidad (Jones, 2011), buscando una mayor sostenibilidad en términos sociales y económicos, para lo cual, la reestructuración o evolución de modos de transporte sostenible es una variable que influye de forma directa en la calidad de vida de los habitantes, así como la ubicación geoespacial de los NAP y su relación de cobertura de la población a beneficiar. En la **Figura 9** se observa la comparación de las distribuciones porcentuales de cobertura de población según el tiempo medio de viaje invertido para cada NAP, de forma general, se tiene que si una curva se encuentra más hacia la izquierda y arriba del origen, significa que dicho NAP cubre un mayor porcentaje de población para menores tiempos medios óptimos e ideales de viaje.

Se encontró que los NAP salud y seguridad refieren una distribución porcentual de cobertura según tiempos medios de viaje bastante semejantes y superiores a los porcentajes de cobertura obtenidos para los NAP recreativos; no obstante, refiere menor cobertura que los NAP educativo. Según lo anterior, se tiene que en la ciudad de Manizales, en promedio, es posible alcanzar un NAP salud de una forma más rápida que un NAP Recreativo, pero es más demorado alcanzar un NAP salud que un NAP educativo. En la **Figura 10** se muestra la comparación de ojivas porcentuales para los NAP estudiados y para la variable población; de forma general, se tiene que si una curva se encuentra más hacia la derecha del origen y posee una menor pendiente, indica que para alcanzar dicho NAP se debe invertir un mayor tiempo medio de viaje.

Se obtuvo, que los NAP recreativos, son los que refieren curvas acumuladas de menor pendiente y desplazadas más hacia la derecha del origen, lo cual permite concluir que poseen una distribución geoespacial en la ciudad más desfavorable si se compara con los otros NAP estudiados; por su parte, para los NAP educativos, las curvas acumuladas poseen una mayor pendiente y se ubican más cerca del origen, lo cual permite concluir que son dichos nodos de actividad los que poseen una mejor distribución geoespacial en

la ciudad. Se concluye que aproximadamente un 72 % de la población, dadas las características operativas de la red de infraestructuras de transporte actual, puede alcanzar un NAP educativo en un tiempo medio de viaje de hasta 5 min, porcentaje que llega al 97 % y 100 % para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de 10 y 15 min., respectivamente. Así mismo, es posible concluir que con un tiempo de respuesta de 5 min desde los NAP Seguridad, se cubriría un 39 % de la población, porcentaje que llegaría al 81 % y 97 % para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de 10 y 15 min, respectivamente; esto indica que la red de transportes actual ofrece mejores condiciones de accesibilidad para los NAP educativo que para los NAP seguridad. Cuando se logra determinar que una red ofrece una deficiente accesibilidad a una población, es necesario investigar el por qué dicha deficiencia, lo cual es fundamental en la adopción de políticas públicas, práctica que ha ido obteniendo cada día una mayor aceptación (Farrington y Farrington, 2005), situación que se relaciona directamente con lo encontrado en esta investigación, ya que al analizar detalladamente las áreas que se encontrarían desatendidas en un tiempo de hasta 5 min, es posible definir cuáles serían los mejores sitios para establecer, por ejemplo, nuevos NAP Seguridad en la ciudad. Se concluye que un 40 % de la población podría alcanzar un NAP Salud en un tiempo medio de viaje de 5 min, porcentaje que aumenta al 81 % y 98 % para tiempos medios óptimos e ideales de viaje de 10 y 15 min, respectivamente; lo cual indica que la red viaria actual ofrece mejores condiciones de accesibilidad para los NAP educativos que para los NAP salud y seguridad, en donde estos últimos reportan similares condiciones en relación con los porcentajes de cobertura. Con los resultados gráficos obtenidos, es posible para una administración municipal, conocer los sectores de la ciudad que muestran deficiencias en la distribución geoespacial de un NAP en particular, no obstante, es necesaria la actualización periódica de la información con el fin de establecer la necesidad o no de algún nodo de actividad.

Es la primera vez que se realizan este tipo de estudios en Colombia, teniendo que las herramientas GIS proporcionan una interface gráfica que permite realizar análisis de accesibilidad, siendo ésta una práctica que ha ganado popularidad últimamente y la cual puede ser usada también para conocer los cambios de

accesibilidad a diferentes nodos de actividad dado el desarrollo de las infraestructuras para el transporte. Se concluye que este tipo de análisis es un apoyo técnico que muestra un panorama general de las condiciones de accesibilidad de un territorio, que en cualquier momento puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial o a los sistemas de transporte que le usan y sobre todo para establecer en qué áreas de la ciudad se deben aunar esfuerzos para ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los habitantes, todo esto relacionado con los diferentes usos del suelo y nodos de actividad presentes en un área urbana, identificándose que el mejoramiento de las infraestructuras de transporte es un elemento clave en la búsqueda de un mejor desarrollo y bienestar económico (Holl, 2007), lo cual está directamente relacionado con la creación paulatina de una ciudad más sostenible.

5. COMENTARIOS FINALES

Mediante la metodología abordada en esta investigación fue posible una actualización minuciosa de la red de infraestructuras del transporte de la ciudad de Manizales, lo cual demuestra las ventajas de combinar el uso de GIS con tecnologías de monitoreo satelital (GPS). Se resalta que los datos de velocidad de operación usados para el cálculo de las curvas isócronas son datos reales y no asumidos como en la gran mayoría de análisis de accesibilidad. Ahora bien, a pesar que las velocidades de operación utilizadas en esta investigación hacen parte de un análisis de dicha variable para todos los modos de transporte (vehículo privado, taxi, moto, transporte público y camión), vale la pena resaltar que en relación al transporte público Urbano (TPU), la accesibilidad hace parte fundamental del paradigma de «movilidad sostenible» (Bertolini, Le Clercq y Kapoen, 2005; Litman, 2007; Pardo, 2005). Esta visión, enmarcada en el contexto del desarrollo sostenible, promueve un cambio de enfoque desde una planeación en transporte centrada en ofrecer movilidad, hacia una planeación enfocada en accesibilidad, que se desarrolla en paralelo con la planeación de los usos del suelo (Bertolini, Le Clercq y Kapoen, 2005), lo cual está relacionado directamente con saber definir en donde realmente hace falta construir un nodo de actividad en

particular o un NAP. Las consideraciones simbólicas de este cambio de paradigma son importantes: «reemplazar planeación centrada en auto-movilidad con planeación en accesibilidad implica que las consideraciones sociales ganan precedencia sobre las individuales. Se reconoce que las ciudades son –primero– y sobre todo para la gente, y no para [priorizar] el movimiento. Un ciudad bien administrada y eficiente minimiza las necesidades de viajar; permitiéndole a sus residentes invertir más tiempo en labores productivas que combatiendo el tráfico» (Cervero, 2001), no obstante, es necesario comprender que un alto o bajo grado de accesibilidad es un resultado relativo, que depende del nodo de actividad al cual se relaciona directamente el resultado. Desde esta óptica, la accesibilidad se convierte en el principal activo de un buen sistema de TPU (Bocarejo y Oviedo, 2012). El impacto de diferentes niveles de accesibilidad desde el transporte, en la calidad de vida urbana se manifiesta desde la facilidad para acceder a los destinos regulares, inclusive los NAP, por ejemplo, se ha encontrado que la capacidad de viaje de individuos en los segmentos más pobres de Bogotá, se reduce a tan solo 1,5 viajes por día (Bocarejo y Oviedo, 2012), un valor muy bajo si lo comparamos con el promedio de Chicago (3,99), Londres (2,81), y Tokio (2,86) (CAF, 2011).

REFERENCIAS

- Arcidiacono, C.A.; Porto, S.M.C. (2010). Model to Manage Crop-Shelter Spatial Development by Multi-Temporal Coverage Analysis and Spatial Indicators. *Biosystems Engineering*, 107(2), pp. 107-122.
- Batty, M. (2009). Accessibility: In Search of a Unified Theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(2), pp. 191-194.
- Bertolini, L.; Le Clercq, F.; Kapoen, L. (2005). Sustainable Accessibility: A Conceptual Framework to Integrate Transport and Land Use Plan-Making. Two Test-Applications in the Netherlands and a Reflection on the Way Forward. *Transport policy*, 12(3), pp. 207-220.
- Biehl, D. (1991). The Role of Infrastructure in Regional Development. (Pion, Ed.) *Infrastructure and Regional Development*, pp. 9-35.
- Bocarejo, J.P.; Oviedo, D.R. (2012). Transport Accessibility and Social Inequities: A Tool for Identification of Mobility Needs and Evaluation of Transport Investments. *Journal of Transport Geography*, 24,

- September, pp. 142-154.
- CAF (2011). *Desarrollo urbano y movilidad en América Latina*, Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Calcuttawala, Z. (2006). Landscapes of Information and Consumption: A Location Analysis of Public Libraries in Calcutta, in Edward D. Garten, Delmus E. Williams, James M. Nyce (ed.) 24 (Advances in Library Administration and Organization, Volume 24), Emerald Group Publishing Limited, pp. 319-388.
- Cervero, R. (2001). Integration of Urban Transport and Urban Planning. In M. Freire, ed. *The Challenge of Urban Government: Policies and Practices*. Washington DC: The World Bank Institute, pp. 407-427.
- Cheng, J.; Bertolini, L.; Le Clercq, F. (2007). Measuring Sustainable Accessibility. *Transportation research Board: Journal of the Transportation Research Board*, 2017, pp. 16-25.
- Escobar, D.; García, F. (2012). Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48(0), pp. 1385-1394.
- Escobar, D.; García, F.; Cadena, C. (2013a). Political Determinants and Impact Analysis of Using a Cable System as a Complement to an Urban Transport System. *Proceedings of 1st International Conference on Innovation and Sustainability - ICOIS 2013. Redesigning Relationships for Government, Business and Community*. Kuala Lumpur (Malaysia).
- Escobar, D.; García, F.; Tolosa, R. (2013b). Análisis de accesibilidad territorial a nivel regional. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.
- Farrington, J.; Farrington, C. (2005). Rural Accessibility, Social Inclusion and Social Justice: Towards Conceptualisation. *Journal of Transport Geography*, 13(1), pp. 1-12.
- Gellrich, M.; Zimmermann, N. (2007). Investigating the Regional-Scale Pattern of Agricultural Land Abandonment in the Swiss Mountains: A Spatial Statistical Modelling Approach. *Landscape and Urban Planning*, 79, pp. 65-76.
- Geurs, K.; Ritsema van Eck, J. (2001). *Accessibility Measures: Review and Applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-use Transport Scenarios, and Related Social and Economic Impacts*. [Disponible en] National Institute of Public Health and the Environment.: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf>. [Consultado el 04 de 08 de 2011].
- Gutiérrez, J.; Condeço-Melhorado, A.; Martín, J. (2010). Using Accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 18, pp. 141-152.
- Halden, D. (2011). The Use and Abuse of Accessibility Measures in UK Passenger Transport Planning. *Transportation Business & Management*, 2, pp. 12-19.
- Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), pp. 73-76.
- Hernández-Ávila, J.; Rodríguez, M.; Rodríguez, N.; Santos, R.; Morales, E.; Cruz, C.; Sepúlveda-Amor, J. (2002). Cobertura geográfica del sistema mexicano de salud y análisis espacial de la utilización de hospitales generales de la Secretaría de salud en 1998. *Salud pública de México*, 44 (6), pp. 519-532.
- Higgs, G.; Langford, M.; Fry, R. (2013). Investigating Variations in the Provision of Digital Services in Public Libraries Using Network-Based GIS Models. *Library & Information Science Research*, 35(1), pp. 24-32.
- Holl, A. (2007). Twenty Years of Accessibility Improvements. The Case of the Spanish Motorway Building Programme. *Journal of Transport Geography*, 15(4), pp. 286-297.
- Huiping-Li.; Qiming-Zhou. (2010). Developing Urban Growth Predictions from Spatial Indicators Based on Multi-Temporal Images. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, pp. 580-594.
- Jones, P. (2011). Developing and Applying Interactive Visual Tools to Enhance Stakeholder Engagement in Accessibility Planning for Mobility Disadvantaged Groups. *Transportation Business & Management*, 2, pp. 29-41.
- Jones, S. (1981). *Accessibility Measures: A Literature Review*. TRRL Report 967, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- Kibambe, J.P.; Radoux, J.; Defourny, P. (2013). Multimodal Accessibility Modeling from Coarse Transportation Networks in Africa. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(5), pp. 1005-1022.
- Kotavaara, O.; Antikainen, H.; Rusanen, J. (2011). Population Change and Accessibility by Road and Rail Networks: GIS and Statistical Approach to Finland 1970-2007. *Journal of Transport Geography*, 19(4), pp. 926-935.

- Litman, T. (2007). Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning. *Transportation Research Record*, 2017(1), pp. 10-15.
- López, E.; Gutiérrez, J.; Gómez, G. (2008). Measuring Regional Cohesion Effects of Large-Scale Transport Infrastructure Investment: An Accessibility Approach. *European Planning Studies*, 16(2), pp. 277-301.
- López, F.; Nieto, D.; Arias, C. (2010). Relaciones entre el concepto de movilidad y la ocupación territorial de Medellín. *Revista EIA*, 13, pp. 23-37.
- Mackinnon, D.; Pirie, G.; Gather, M. (2008). Transport and Economic Development, In R. Knowles, J. Shaw, & I. Docherty, Editors, *Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces* (10-28). Blackwell Publishers, Oxford.
- Martellano, D.; Nijkamp, P.; Reggiani, A. (1995). *Measurement and Measures of Network Accessibility*. TI 5-95-207, Tinbergen Institute, Amsterdam.
- Molina, A.; López, F.; Villegas, G. (2005). Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación municipal. *Revista EIA*, 4, pp. 21-31.
- Morris, J.M.; Dumble, P.L.; Wigan, M.R. (1978). Accessibility Indicators in Transport Planning. *Transportation Research*, 13A, pp. 91-109.
- Pardo, C. (2005). Salida de Emergencia: Reflexiones Sociales sobre las Políticas del Transporte. *Universitas Psychologica*, 4(3), pp. 271-284.
- Park, S. (2012). Measuring public library accessibility: a case study using GIS. *Library & Information Science Research*, 34(1), pp. 13-21.
- Pirie, G. (1979). Measuring accesibility: a review and proposal. *Environment and Planning A*, 11, pp. 299-312.
- Rietveld, P.; Nijkamp, P. (1993). Transport and regional development. In: J. Polak and A. Heertje, Editors, *European Transport Economics*, European Conference of Ministers of Transport (ECMT), Blackwell Publishers, Oxford.
- Ribeiro, A.; Silva, J. (2011). Space, Development and Accessibility Between Portugal and Spain: The Last Frontier. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 27, pp. 7-14.
- Schürman, C.; Spiekermann, K.; Wegener, M. (1999). Accessibility indicators, Berichteaus dem Institut für Raumplanung, 39, IRPUD, Dortmund.
- Straatemeier, T. (2008). How to Plan for Regional Accessibility? *Transport Policy*, pp. 127-137.
- Tassinari, P.; Carfagna, E.; Benni, S.; Torreggiani, D. (2008). Wide-Area Spatial Analysis: A Firts Methodological Contribution for the Study of Changes in the Rural Built Environment. *Biosystems Engineering*, 100, pp. 435-447.
- Vega, A. (2011). A Multi-Modal Approach to Sustainable Accessibility in Galway, *Regional Insights*, 2(2), pp. 15-17.
- Vickerman, R.; Spiekermann, K.; Wegener, M. (1999). Accessibility and Economic Development in Europe. *Regional Studies*, 33(1), pp. 1-15.
- Wang, D.; Brown, G.; Mateo-Babiano, I. (2013). Beyond Proximity: An integrated model of Accessibility for Public Parks. *Asian Journal of Social Sciences & Humanities*, 2(3), pp. 486-498.
- Zhu-Xuang.; Liu-Susia (2004). Analysis of the Impact of the MRT System on Accessibility in Singapore Using an Integrated GIS Tool. *Journal of Transport Geography*, 4(12), pp. 89-101.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Escobar-García, D.A.; Cadena-Gaitán, C.; Salas-Montoya, A. (2015). Cobertura geoespacial de nodos de actividad primaria. Análisis de los aportes a la sostenibilidad urbana mediante un estudio de accesibilidad territorial. *Revista EIA*, 12(23). Enero-junio de 2015, pp. 13-27. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.23.13-27>.